

## Impact of Jasmonic Acid on Radiation Use Efficiency and Dry Biomasses of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) under Water Deficit Conditions

Hamideh Ghafari<sup>1</sup> and Mahmoud Reza Tadayon<sup>2\*</sup>

- 1- Ph.D. Student of Crop Physiology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
- 2- **\*Corresponding Author:** Associate Professor, Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran (mrtadayon@yahoo.com)

Received: 21 July, 2017

Accepted: 7 March, 2018

### Abstract

#### Background and Objectives

Drought stress is a major limiting factor on crop production and plant distribution worldwide. Reduction of RUE, water stress also affects foliage expansion and eventually radiation capture. Water stress almost decreases fresh root weight. Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) is an important commercial crop that supplies approximately 30% of the world's sugar. Research has showed reduction in the leaf area and a smaller decrease in the taproot growth of sugar beet when subjected to drought stress. Phytohormones are part of signaling pathways or their presence may stimulate signaling reactions molecules that are responsible for plants to response stresses. Exogenously applied jasmonates elicit several different physiological responses to stress and therefore increase plant resistance. For instance, MeJA was reported to improve resistance against drought in rice.

#### Materials and Methods

This research was carried out in 2015 in the research field station of Shahrekord University, Shahrekord, Iran (50°51'N, 32°19'E and 2050 m a.s.l). A field experiment was conducted as split-plot arrangement in a randomized completely block design with three replications on sugar beet (Monogerm Castille seed). The main plot included three irrigation treatments 100% (control), 75% and 50% of water requirement and the sub plot included 3 levels of jasmonic acid applied sprayed with water (control), 5 and 10  $\mu$ M jasmonic acid. Foliar spray was done at 6-8, 12-16 and 20-24 leaf stages. Plants were grown under full irrigation until the 16-20 leaf stage, when water stress was applied.

#### Results

The result showed that light absorption percent and extinction coefficient were significantly affected by irrigation level, jasmonic acid applications and their interactions. The interaction between drought level and jasmonic acid application showed the highest increase in light absorption percent (73.07) and extinction coefficient (0.58) were recorded in 100% of water requirement and 10  $\mu$ M jasmonic acid application. Drought levels led to decrease of radiation use efficiency. Jasmonic acid increased radiation use efficiency. In terms of the trend of the leaf area index, dry matter accumulation of shoot and root had the highest in 100% of water requirement and application 10  $\mu$ M jasmonic acid. The improvement of leaf characters of sugar beet by jasmonic acid of treatment may be due to the fact that jasmonate antagonistically regulates the expression of stress inducible proteins, associated with drought stress in rice.



**Discussion**

With the increase in leaf area index, dry matter accumulation increased. Jasmonic acid improved sugar beet growth under drought stress by inducing plants to increase organic osmoprotectants. JA spray could be adopted as a potential growth regulator or antioxidant to improve growth under water deficit stress on sugar beet.

**Keywords:** Leaf area index, Radiation use efficiency, Root dry weight, Water deficit stress

## اثر محلول پاشی جاسمونیک اسید بر کارایی مصرف نور و تجمع ماده خشک چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) تحت شرایط کم آبی

حمیده غفاری<sup>۱</sup> و محمود رضا تدین<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران  
۲- \*نویسنده مسئول: دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران (mrtadayon@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۳۰

### چکیده

به منظور بررسی محلول پاشی جاسمونیک اسید و تنش کم آبی بر کارایی مصرف نور و تجمع ماده خشک گیاه چغندر قند، آزمایشی در سال ۱۳۹۴ به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. تیمار آبیاری در ۳ سطح (۱۰۰ درصد شاهد، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه چغندر قند) به عنوان عامل اصلی و محلول پاشی جاسمونیک اسید در دو سطح ۵ و ۱۰ میکرومولار و محلول پاشی با آب (شاهد) به عنوان عامل فرعی و رقم کاستیل به عنوان رقم مورد آزمایش در نظر گرفته شد. نتایج آزمایش نشان داد که بین سطوح آبیاری و محلول پاشی جاسمونیک اسید بر درصد نور جذب شده، ضریب استهلاک نوری و برهمکنش آن‌ها تفاوت معنی داری مشاهده شد. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و محلول پاشی جاسمونیک اسید نشان داد، تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری مورد نیاز گیاه و محلول پاشی ۱۰ میکرومولار جاسمونیک اسید بیشترین میزان درصد نور جذب شده (۷۳/۰۷) و ضریب استهلاک نوری (۰/۵۸) را به خود اختصاص داد. افزایش تیمارهای تنش باعث کاهش کارایی مصرف نور و تیمار جاسمونیک اسید باعث افزایش کارایی مصرف نور شد. بیشترین شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک اندام هوایی و ریشه در تمام طول فصل رشد مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و محلول پاشی ۱۰ میکرومولار جاسمونیک اسید بود. کاربرد جاسمونیک اسید باعث کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر رشد و بیوماس گیاه چغندر قند می‌شود.

کلید واژه‌ها: تنش کم آبی، شاخص سطح برگ، ضریب استهلاک نوری، وزن خشک ریشه

### مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌ها است که بر تنظیم رشد و بهبود عملکرد گیاه، محدودیت تولید گیاه و تغییر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تأثیر دارد (El-Tayeb, 2006). تنش آب ممکن است ساختار سایه‌انداز و الگوی انتشار و کسر تابش فعال فوستتری را تغییر دهد (Beheshti et al., 2002). تنش خشکی، علاوه بر کاهش کارایی مصرف نور، باعث کاهش گسترش شاخ و برگ شده و در نهایت بر جذب تابش تأثیر می‌گذارد (Inman-Bamber, 2004). با این که چغندر قند گیاهی است

مقاوم به خشکی اما جهت دستیابی به عملکرد بالا بکارگیری راهکارهایی که بتواند اثر تنش خشکی را کاهش دهد بسیار مورد توجه پژوهشگران بوده است. تولید ماده خشک گیاهی، تابعی از تابش دریافتی در طول دوره رشد و کارایی مصرف نور در سایه‌انداز گیاهی است. مطالعات نشان می‌دهد که با افزایش جذب نور در جامعه گیاهی، عملکرد نیز بیش تر خواهد شد، همه گیاهان در دوره رشد خود با استفاده از نور خورشید، ماده خشک تولید کرده و آن را ذخیره می‌کنند (Ramberg et al., 2002). راندمان استفاده از تابش در گیاه چغندر قند حدود ۰/۹ درصد

برآورد شده است که جهت تولید ساکارز کشت می شود و دارای پتانسیل تولید انرژی (بیواتانول) نیز می باشد (Rinaldi and Vonella, 2006). بنابراین یکی از شیوه های ارزیابی کارکرد گیاهان، اندازه گیری مقدار نور دریافتی توسط گیاه و محاسبه کارایی تبدیل آن به ماده خشک است (Sadeghzade Hemayati *et al.*, 2008). ضریب استهلاک نوری (K) نشانگر میزان کاهش نور در جامعه گیاهی است که برخی محققین با استفاده از معادلات رگرسیون، معادله نمایی از مقدار نور عبور کرده نسبت به شاخص سطح برگ، ضریب استهلاک نوری را تعیین کردند (Pazoki and Kariminejad, 2009). کارایی مصرف نور، عبارت از زیست توده گیاهی تولید شده به ازای انرژی نورانی جذب شده توسط گیاه است که بر حسب گرم بر مگازول بیان می شود (Muchow and Stewart, 1994). از کارایی مصرف نور جهت ارزیابی عملکرد نسبی گیاهان زراعی تحت مکان های مختلف و شیوه های مدیریت استفاده می شود (Adeboye *et al.*, 2016). جاسمونیک اسید (Jasmonic acid) به عنوان یک هورمون گیاهی، مولکول های پیام رسان سلولی مهمی است. جاسمونات و استر متیل آن، یعنی متیل جاسمونات گلدھی و پیری را در گیاه تنظیم می کنند و منجر به القای پاسخ های مربوط به مقاومت و تنش می شوند نقش جاسمونات ها در رویدادهای مورفوفیزیکی گیاهان نیز به خوبی ثابت شده است. این هورمون علاوه بر افزایش نمو (رشد به همراه تمایز) سلول می تواند تقسیم سلولی در جهت رشد و نمو را نیز کنترل کنند که به تشکیل بافت ها و اندام ها کمک می کند (Balbi and Devoto, 2007). با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور، هدف از این پژوهش، تحقیق و بررسی در مورد افزایش کارایی مصرف نور و کاهش ضریب خاموشی چغندر قند در جهت افزایش تجمع ماده خشک ریشه با محلول پاشی جاسمونیک اسید در شرایط مزرعه می باشد.

### مواد و روش ها

به منظور ارزیابی شاخص های رشد و کارایی مصرف نور چغندر قند، تحت تیمارهای کم آبیاری و محلول پاشی

جاسمونیک اسید، این آزمایش به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تیمار آبیاری در ۳ سطح (۱۰۰) (شاهد)، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری گیاه) و محلول پاشی جاسمونیک اسید در ۳ سطح (محلول پاشی با آب مقطر (شاهد)، ۵ و ۱۰ میکرو مولار) بود. نیاز کودی مزرعه بر حسب نتایج آزمون خاک (جدول ۱)؛ اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در پنج نوبت (یک نوبت قبل از کشت، چهار نوبت پس از کشت به صورت سرک)، سوپر فسفات تریپل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کشت و سولفات پتاسیم ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کشت صورت گرفت. هر کرت شامل ۶ خط کاشت به طول ۴ متر و با استفاده از دستگاه فاروئر ردیف های کاشت به صورت جوی و پشته هایی به عرض ۵۰ سانتی متر ایجاد شد و فاصله بوته ها روی خط ۲۰ سانتی متر و تراکم بوته در هکتار ۱۰۰ هزار بوته در مترمربع بود. کشت در اول خردادماه سال ۱۳۹۴ صورت گرفت. آبیاری کرت های آزمایش تا قبل از اجرای تیمار کم آبیاری بر حسب شرایط آب و هوایی و تخلیه رطوبتی خاک، و براساس تخلیه آب سهل الوصول که میزان آن برابر ۵۵ درصد آب قابل دسترس بود انجام شد. نیاز آبی گیاه بر پایه اندازه گیری تغییرات رطوبت خاک با دستگاه رطوبت سنج تاپروپ مدل SM300 در هر مرحله اندازه گیری شد و مطابق روش Allen *et al.* (2000) برآورد شد. با استفاده از این دستگاه میزان رطوبت خاک پایش شده و زمان رسیدن به حد رطوبت تخلیه مجاز ((Management Available Deficit (MDA) مشخص گردید. تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد به ترتیب به میزان ۷۵ و ۵۰ درصد آب مصرفی تیمار شاهد آب دریافت کردند. مقدار رطوبت MAD، طبق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\Theta_{MAD} = \Theta_{FC} - (\Theta_{FC} - \Theta_{PWP}) \times MAD \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این رابطه:  $\Theta_{FC}$  = رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی مزرعه (درصد)،  $\Theta_{PWP}$  = رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دائم (درصد)، MAD = ضریب تخلیه مجاز.

شاخص سطح برگ از نسبت سطح برگ هر بوته (LA) به سطح زمینی که توسط آن اشغال شده است (GA) محاسبه شد (Hopkins, 1995).

برای محاسبه درصد نور جذب شده و ضریب استهلاک نوری در مرحله تولید بیشترین میزان پوشش گیاهی (۹۰ روز پس از سبز شدن)، نمونه برداری تابش فعال فتوسنتزی (PAR) دریافتی در بالای تاج پوشش و در پایین آن بر حسب میکرو مول بر متر مربع در ثانیه در ساعت ۱۱ تا ۱۳ ظهر هنگامی که مقدار تابش در بیشترین میزان خود بود توسط دستگاه سان اسکن (Suns can) اندازه گیری و بر اساس شاخص سطح برگ تعیین شدند. در نهایت طبق فرمول های زیر محاسبه شدند.

رابطه ۴:  $\ln I_i/I_0 = -K(LAI)$

رابطه ۵:  $I_0 = (1 - (I_i/I_0)) \times 10$  درصد نور جذب شده

در این رابطه:  $I_0$ : تابش فعال فتوسنتزی در قسمت بالای جامعه گیاهی،  $I_i$ : تابش فعال فتوسنتزی در زیر سایه اندازه، LAI: شاخص سطح برگ و  $K$ : ضریب استهلاک نوری می باشد (Adeboye *et al.*, 2016). برای تعیین کارایی مصرف نور میزان ماده خشک تجمعی با نمونه برداری از زیست توده تولیدی در مقاطع زمانی و میزان تابش تجمعی جذب شده، از طریق محاسبه شیب رگرسیون خطی بین ماده خشک تجمعی (گرم در مترمربع) و تابش تجمعی (مگاژول بر مترمربع) برآورد شد (Adeboye *et al.*, 2016). داده های حاصل از صفات اندازه گیری شده با نرم افزار آمار SAS و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد ارزیابی شد و نمودارها با استفاده از نرم افزار Sigma plot ترسیم شدند.

زمانی که رطوبت خاک به حد پایینی رطوبت سهل الوصول ( $\theta_{MAD}$ ) رسید، عمق آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک مطابق با رابطه (۲) و (۳) اعمال شد.

رابطه ۲:  $d = (\theta_{FC} - \theta_{soil}) \times D$

رابطه ۳:  $V = d \times A \times 1000$

در این رابطه:  $d$  = عمق آب مورد نیاز (m)،  $D$ : عمق مؤثر ریشه گیاه (m)،  $\theta_{soil}$  رطوبت خاک پیش از آبیاری (m/m)،  $A$  سطح کرت ( $m^2$ )،  $V$  حجم آبیاری (L) (Allen *et al.*, 2000).

محلول پاشی جاسمونیک اسید با حفظ غلظت مورد نظر برای هر تیمار، بر روی اندام هوایی چغندر قند سه بار طی فصل رشد و در مراحل ۶-۸ برگی، ۱۲-۱۶ برگی و ۲۰-۲۴ برگی و تیمار شاهد با آب انجام شد. اعمال کم آبیاری، از سه هفته پس از محلول پاشی اول و در مرحله ۱۶-۲۰ برگی صورت گرفت. به منظور اندازه گیری شاخص سطح برگ، از زمان سبز شدن با فواصل مشخص (تأمین ۳۰۰ روز درجه رشد تجمعی (GDD) در هر مرحله سه بوته از هر کرت برداشته شد. رابطه بین شاخص سطح برگ با روز درجه رشد، (با استفاده اطلاعات دمای حداقل و حداکثر روزانه و دمای پایه ۵ درجه سانتی گراد) (Petkeviciene, 2009) و همچنین رابطه وزن خشک اندام هوایی و ریشه با تابش تجمعی با کمک داده های میزان تابش جذب شده روزانه تجمعی در چند مرحله و نهایتاً مقدار کل تابش جذب شده در هر مرحله به صورت تجمعی محاسبه شدند. سطح برگ توسط عکس برداری با دوربین و محاسبه با نرم افزار آنالیز تصویر ImageJ اندازه گیری شد (Ferreira and Rasband, 2012) و

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of soil in experimental site

بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	عمق Depth	هدایت الکتریکی EC	پتاسیم K	فسفر P	نیترژن N	ماده آلی Organic matter
		سانتی متر cm	دسی زیمنس بر متر $dS.m^{-1}$	میلی گرم بر کیلوگرم $mg.kg^{-1}$			درصد %
لومی-رسی Loam- Clay	7.8	0-30	0.38	470	17.6	0.11	1.13

## نتایج و بحث

### شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ در اوایل رشد روند افزایشی داشت. در تمام تیمارها، بیشترین شاخص سطح برگ در ۱۲۳۰ GDD در ۹۰ روز پس از سبز شدن به دست آمد و پس از آن کاهش یافت، کاهش شاخص سطح برگ احتمالاً به علت سایه اندازی برگ‌های بالایی سایه انداز بر روی طبقات پایین تر و کاهش فتوسنتز برگ‌های پایین و همچنین پیری این برگ‌ها است (شکل ۱). تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در تمام سطوح محلول پاشی بالاترین شاخص سطح برگ را داشت. کاهش در شاخص سطح برگ با اعمال تنش کم آبی در همه تیمارهای محلول پاشی ایجاد شد، در حالی که شدت کاهش در همه سطوح جاسمونیک اسید یکسان نبود و با محلول پاشی جاسمونیک اسید به ترتیب با میزان ۵ و ۱۰ میکرومولار شدت کاهش کمتر بود. Arab *et al.* (2016) بیان کردند تنش خشکی به واسطه زرد شدن و ریزش زودهنگام برگ‌های پایین سایه انداز گیاه و کاهش اندازه و تولید برگ‌های جدید موجب کاهش شاخص سطح برگ می‌گردد، چنین نتیجه‌گیری شده است که تولید و گسترش برگ به تنش کم آبی حساسیت زیادی دارد. شاخص سطح برگ با عملکرد زیستی و اقتصادی مرتبط بوده و افزایش آن باعث دستیابی به عملکرد بالاتر می‌شود (Reisi *et al.*, 2017).

### تجمع ماده خشک اندام هوایی

روند تجمع ماده خشک در تیمارهای تنش کم آبی و محلول پاشی جاسمونیک اسید نشان داد تا قبل از اعمال تیمارها روند تغییرات ماده خشک اندام هوایی مشابه بود (شکل ۲). در مراحل اولیه رشد، شدت افزایش وزن خشک گیاه کم بود و همزمان با افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۱) با شدت بیشتری افزایش یافت (شکل ۲). این روند، تا ۹۰ روز پس از سبز شدن یعنی تا تابش جمعی ۲۶۰۰ مگاژول بر مترمربع، برای تمام تیمارها افزایشی بود که شدت این افزایش در تیمار محلول پاشی ۱۰ میکرومولار جاسمونیک اسید، بیشتر از تیمار محلول پاشی با آب بود، در حالی که در تیمارهای تنش کم آبی، سرعت این افزایش

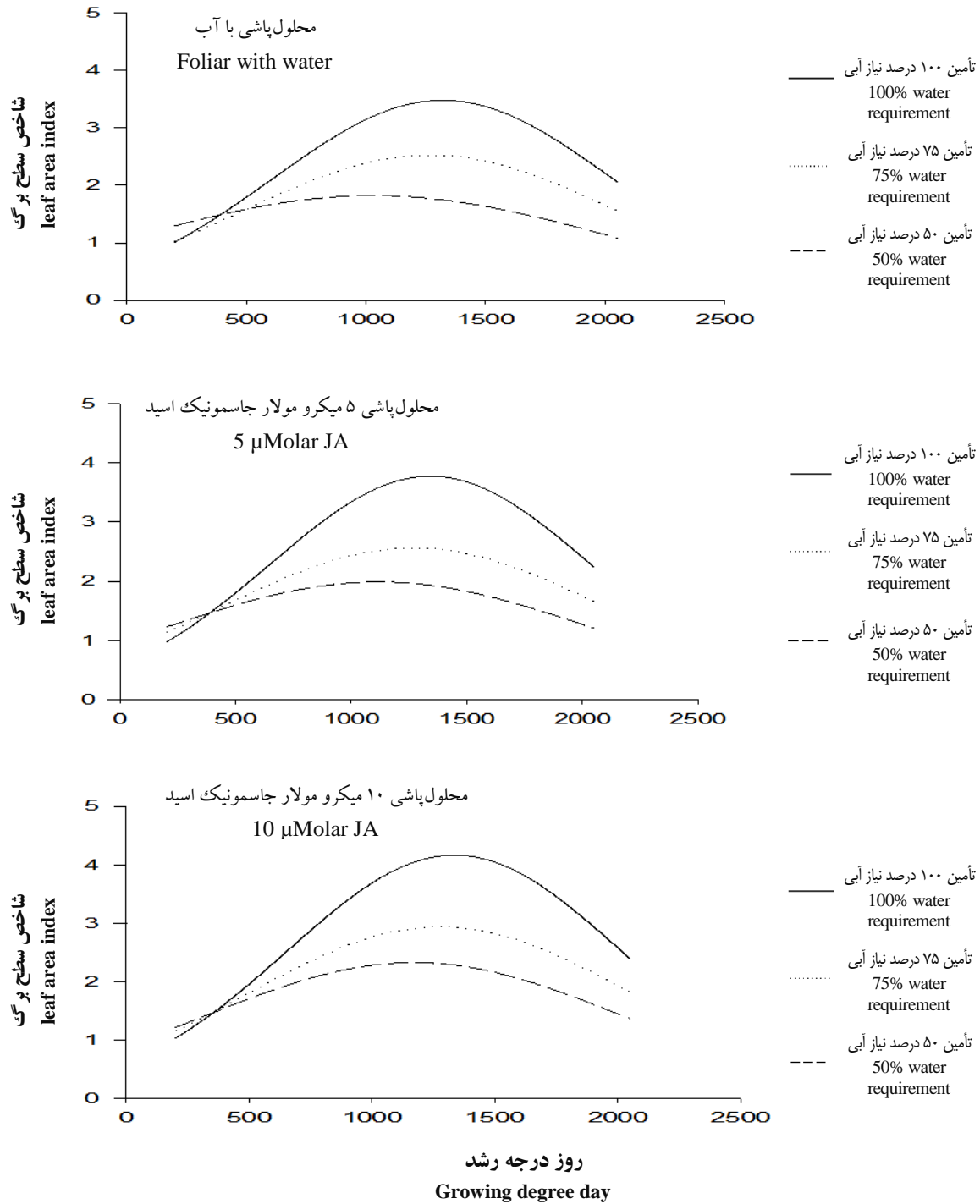
کمتر بود (شکل ۲). ولی بعد از آن و تا پایان دوره رشد، روند تجمع ماده خشک اندام هوایی کاهش یافت (شکل ۲). با افزایش تنش کم آبی شیب کاهش وزن خشک شدیدتر شد و برای تیمارهای محلول پاشی با جاسمونیک اسید، شدت کاهش این شیب کم تر بود. میزان ماده خشک در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی و محلول پاشی با آب) در زمان بیشترین پوشش گیاهی (۹۰ روز پس از سبز شدن) ۷۸۵ گرم در مترمربع بود و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و محلول پاشی با آب ۵۵۸ گرم در مترمربع و با محلول پاشی ۱۰ میکرومولار جاسمونیک اسید ۶۴۱ گرم در مترمربع بود که به ترتیب کاهش ۲۹ و ۱۸ درصدی نسبت به تیمار شاهد داشتند (شکل ۲). احتمالاً دلیل کاهش وزن خشک، ریزش سریع تر برگ‌ها به علت کمبود آب باشد. نتایج نشان داد کاهش میزان آب آبیاری باعث کاهش تجمع ماده خشک هم از نظر میزان ماده خشک و هم از نظر آهنگ تجمع ماده خشک گردید. همچنین بین تیمارهای محلول پاشی جاسمونیک اسید از نظر روند تجمع ماده خشک در هر سطح آبیاری تفاوت مشاهده شد. به نحوی که با محلول پاشی ۱۰ میکرومولار جاسمونیک اسید روند تقلیل ماده خشک در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی کمتر بود (شکل ۲). در این راستا Naderi *et al.* (2005) گزارش کردند که با کاهش میزان رطوبت قابل دسترس برای گیاه، کاهش سطح برگ اتفاق می‌افتد و جذب نور توسط سایه انداز کاهش یافته و در پی آن، ماده خشک تولیدی نیز کاهش می‌یابد.

### تجمع ماده خشک ریشه

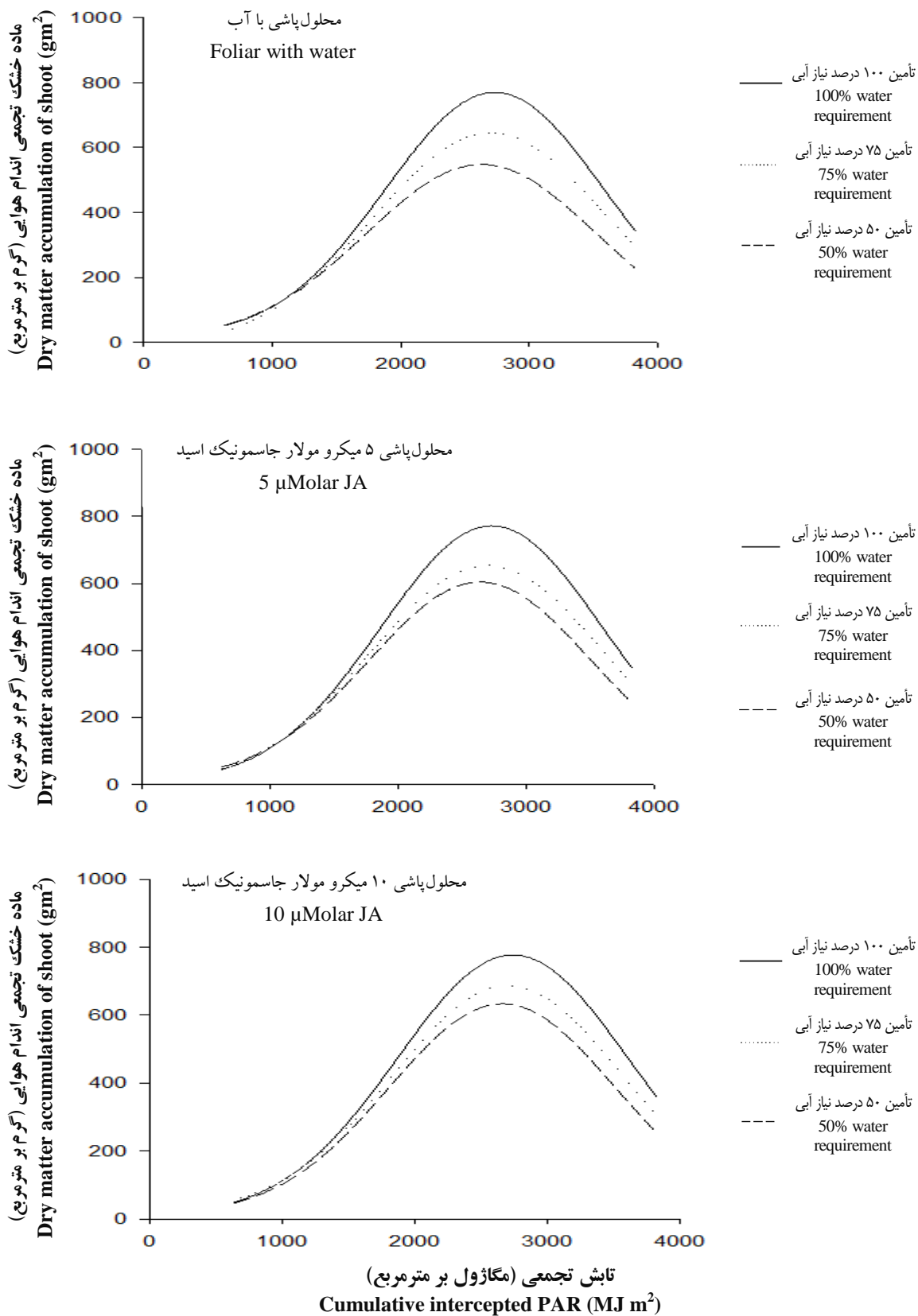
سرعت تجمع ماده خشک ریشه با افزایش میزان تابش جمعی افزایش یافت و این افزایش تا پایان دوره رشد سیر صعودی داشت و در اواخر دوران رشد سرعت افزایش کاهش یافت (شکل ۳). همچنین، در بررسی تغییرات ماده خشک ریشه گیاه در طول دوره رشد مشاهده گردید که اعمال تیمارهای آبیاری در همه سطوح کاربرد جاسمونیک اسید، موجب کاهش کل ماده خشک ریشه گیاه شد (شکل ۳). ولی این کاهش در همه سطوح با هم برابر نبود. در زمان برداشت میزان ماده خشک ریشه در تیمار شاهد

که به ترتیب کاهش ۲۸ و ۲۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد داشتند (شکل ۳). بنابراین می توان بیان کرد محلول پاشی جاسمونیک اسید به دلیل ایجاد مقاومت تحت شرایط تنش می تواند میزان کاهش وزن خشک ریشه را تقلیل دهد.

(۱۰۰ درصد نیاز آبی و محلول پاشی با آب) ۱۳۰۸ گرم در مترمربع بود، در حالی که، در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و محلول پاشی با آب ۹۴۴ گرم در متر مربع و با محلول پاشی ۱۰ میکرومولار جاسمونیک اسید ۱۰۳۲ گرم در مترمربع بود

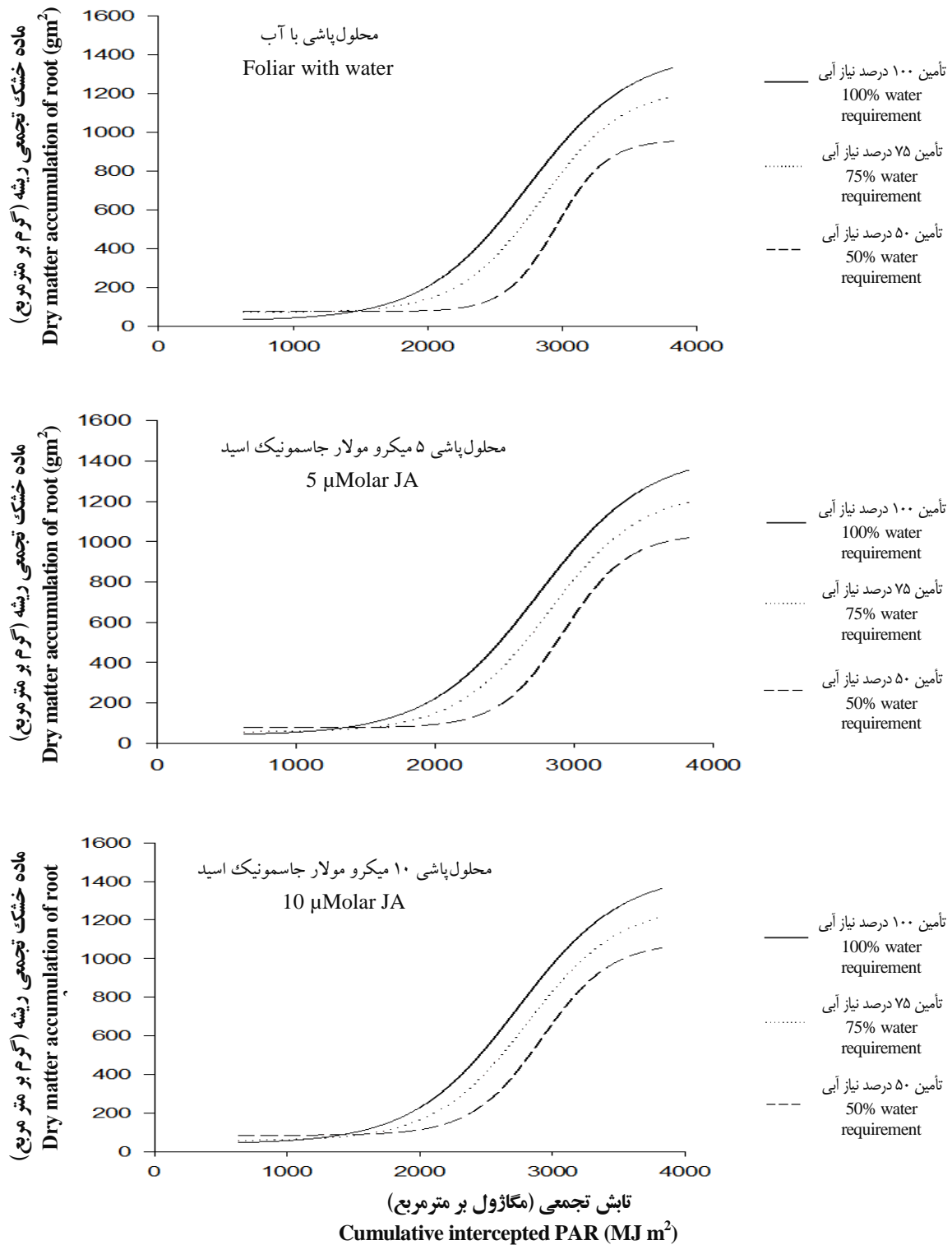


شکل ۱- ارتباط بین شاخص سطح برگ و درجه روز رشد تجمعی تحت تیمارهای آبیاری و جاسمونیک اسید  
 Figure 1. Relationship between of leaf area index and growing degree day under irrigation and jasmonic acid treatments



شکل ۲- ارتباط بین تابش تجمعی جذب شده و ماده خشک اندام هوایی تحت تیمارهای آبیاری و جاسمونیک اسید  
 Figure 2. Relationship between of cumulative PAR and dry matter accumulation of shoot under irrigation and jasmonic acid treatments





شکل ۳- ارتباط بین تابش تجمعی جذب شده و ماده خشک ریشه در تحت تیمارهای آبیاری و جاسمونیک اسید  
 Figure 3. Relationship between of cumulative PAR and dry matter accumulation of root under irrigation and jasmonic acid treatments

الکترون‌های بیشتری برای تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن هدایت می‌شوند و با کاهش میزان تعرق و افزایش اتلاف

محدودیت آب در دسترس گیاه، منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جریان CO<sub>2</sub> به برگ‌ها می‌شود و

ضریب استهلاک نوری در سطح یک درصد و برای درصد نور جذب شده در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری وجود داشت (جدول ۲).

اثر متقابل سطوح آبیاری و محلول پاشی جاسمونیک اسید نشان می دهد که بیشترین نور جذب شده در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه × محلول پاشی ۱۰ میکرو مولار، افزایش ۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد داشت. کمترین نور جذب شده مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی × محلول پاشی با آب و محلول پاشی ۵ میکرومولار جاسمونیک اسید بود که به ترتیب با میزان ۴۸/۲۳ و ۴۷/۱۳ درصد بود که هر دو در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۳). اثر متقابل تیمارهای آبیاری و محلول پاشی جاسمونیک اسید بر ضریب استهلاک نوری نشان می دهد بیشترین میزان مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی × محلول پاشی ۱۰ میکرو مولار با ۰/۵۸ درصد بود که افزایش ۶۶ درصدی نسبت به شاهد داشت، در حالی که کمترین مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه × محلول پاشی با آب با ۰/۲۴ درصد بود که کاهش ۳۱ درصدی نسبت به شاهد داشت (جدول ۳).

حرارت، میزان فتوسنتز خالص نیز کاهش می یابد (Farooq *et al.*, 2009). با کاهش فتوسنتز، تولید ماده خشک نیز کاهش می یابد (Shao *et al.*, 2008).

از سوی دیگر، محلول پاشی جاسمونیک اسید به دلیل ایجاد مقاومت تحت شرایط تنش می تواند میزان کاهش وزن خشک ریشه را تقلیل دهد. جاسمونات ها از مسیر لینولنیک اسید مشتق شده اند و مشابه سایر تنظیم کننده های رشد و نمو گیاه، اثرات متنوعی از جمله ممانعت از پیری زودرس، ریزش و پیچش برگ، بسته شدن روزنه ها دارند. این ترکیبات به عنوان پیام رسان کلیدی معرفی شده اند و در فرآیند القا منجر به تجمع متابولیت های ثانویه می شوند. Spollanesky *et al.* (2000) طی مطالعه ای بر گیاه *Brugmansia candida* نشان دادند متیل جاسمونات باعث افزایش وزن خشک و تر این گیاه شد.

#### درصد نور جذب شده و ضریب استهلاک نوری

نتایج تجزیه واریانس نشان می دهد اثر سطوح آبیاری و محلول پاشی جاسمونیک اسید برای صفات درصد نور جذب شده و ضریب استهلاک نوری در سطح یک درصد معنی دار بود و برای اثر متقابل آن ها برای صفت

جدول ۲- تجزیه واریانس تیمارهای آبیاری و جاسمونیک اسید بر درصد نور جذب شده و ضریب استهلاک نوری چغندر قند  
Table 2. Analysis of variance of irrigation and jasmonic acid treatments on light absorption percent and extinction coefficient of sugar beet

میانگین مربعات Mean square		درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variance
ضریب استهلاک نوری Extinction coefficient	درصد نور جذب شده Light absorption percent		
0.0005 <sup>ns</sup>	33.87 <sup>ns</sup>	2	بلوک Block
0.0947 <sup>**</sup>	1044.63 <sup>**</sup>	2	آبیاری Irrigation
0.0012	6.80	2	خطای اصلی Error a
0.0343 <sup>**</sup>	190.11 <sup>**</sup>	2	جاسمونیک اسید Jasmonic acid
0.0076 <sup>**</sup>	57.72 <sup>*</sup>	4	آبیاری × جاسمونیک اسید Irrigation × Jasmonic acid
0.0011	11.96	12	خطای فرعی Error b
9.47	5.89		ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)

ns, \* و \*\* به ترتیب بیانگر معنی دار نبودن، معنی دار بودن در سطوح پنج و یک درصد.

ns, \* and \*\* show non significance and significance at 5, 1 % level, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری در جاسمونیک اسید بر درصد نور جذب شده و ضریب استهلاک نوری چغندر قند  
**Table 3. Interaction effects of irrigation and jasmonic acid (JA) treatments on light absorption percent and extinction coefficient of sugar beet**

ضریب استهلاک نوری extinction coefficient	درصد نور جذب شده Light absorption percent	سطوح جاسمونیک اسید JA level	تیمارهای آبیاری Irrigation treatments
0.35 <sup>cd</sup>	69.33 <sup>a</sup>	محلول پاشی با آب Foliar with water	
0.47 <sup>b</sup> (+34)	68.23 <sup>a</sup> (-2)	محلول پاشی ۵ میکرو مولار 5 $\mu$ M JA	تأمین ۱۰۰ درصد آبیاری (شاهد) 100% IWR
0.58 <sup>a</sup> (+66)	73.07 <sup>a</sup> (+5)	محلول پاشی ۱۰ میکرو مولار 10 $\mu$ M JA	
0.32 <sup>d</sup> (-9)	49.00 <sup>bc</sup> (-29)	محلول پاشی با آب Foliar with water	
0.31 <sup>d</sup> (-11)	54.27 <sup>b</sup> (-22)	محلول پاشی ۵ میکرو مولار 5 $\mu$ M JA	تأمین ۷۵ درصد آبیاری 75% IWR
0.39 <sup>c</sup> (+11)	67.50 <sup>a</sup> (-3)	محلول پاشی ۱۰ میکرو مولار 10 $\mu$ M JA	
0.24 <sup>f</sup> (-31)	48.23 <sup>c</sup> (-30)	محلول پاشی با آب Foliar with water	
0.25 <sup>ef</sup> (-29)	47.13 <sup>c</sup> (-32)	محلول پاشی ۵ میکرو مولار 5 $\mu$ M JA	تأمین ۵۰ درصد آبیاری 50% IWR
0.30 <sup>de</sup> (-14)	51.27 <sup>bc</sup> (-26)	محلول پاشی ۱۰ میکرو مولار 10 $\mu$ M JA	

میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. عدد داخل پرانتز میزان درصد کاهش (-) یا افزایش (+) را نسبت به شاهد (عدم تنش + محلول پاشی با آب) نشان می‌دهد.

Mean values followed by the same letter are not significantly different at  $P \geq 0.05$  level as determined by LSD test. IWR: Irrigation water requirement. Note: Values in the parentheses are percent reduction (-) or increase (+) as compared with the control (100% IWR and foliar with water).

فتوستتر سایه‌انداز و عملکرد گیاه زراعی به شمار می‌رود (Pazoki and Kariminejad, 2009). کاهش ضریب استهلاک نوری زمانی که گیاهان تحت آبیاری کامل نبودند حاکی از وجود برگ‌های کمتر می‌باشد که باعث انتشار نور در داخل سایه‌انداز می‌شود (Adeboye *et al.*, 2016). Pazoki and Kariminejad (2009) نشان دادند تنش آبی باعث کاهش ضریب استهلاک نوری در گیاه کلزا شد، که با نتایج این مطالعه مطابقت داشت.

#### کارایی مصرف نور

کارایی مصرف نور با کاهش میزان آبیاری کاهش یافت و محلول پاشی ۱۰ میکرومولار جاسمونیک اسید منجر به افزایش کارایی مصرف نور نسبت به محلول پاشی با آب گردید (جدول ۴).

معنی‌دار بودن اثر تیمار آبیاری و جاسمونیک اسید بر ضریب استهلاک نوری نشان می‌دهد که با کاربرد آن‌ها، روند توسعه سطح برگ، زاویه برگ و آرایش مطلوب برگ‌های بالایی و در مجموع جذب کارآمد نور توسط آن‌ها ایجاد می‌شود که همین امر موجب دستیابی مطلوب‌تر برگ‌های پایینی به نور نیز شده و از تبدیل آن‌ها به برگ‌های انگل جلوگیری می‌کند. ساختار سایه‌انداز مطلوب می‌تواند منجر به درصد جذب نور بیشتر و در نتیجه دسترسی نور بیشتر در داخل سایه‌انداز شود. در این راستا (Mohammadian *et al.* 2005) در مطالعه خود مشاهده کردند که تنش خشکی باعث کاهش درصد نور جذب شده در داخل سایه‌انداز می‌شود که خود منجر به کاهش رشد می‌شود. نحوه دریافت PAR توسط سایه‌انداز گیاه، یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده

جدول ۴- معادلات رگرسیون خطوط کارایی مصرف نور چندرقدند تحت تیمارهای آبیاری و جاسمونیک اسید

Table 4. Regression equations of RUE in sugar beet under irrigation and jasmonic acid treatments

تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی Supply of 50% of crop water requirement	تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی Supply of 75% of crop water requirement	تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی Supply of 100% of crop water requirement	سطوح جاسمونیک اسید JA level
$y = 0.2758x - 144.86$ $R^2=0.99$	$y = 0.3379x - 216.86$ $R^2=0.99$	$y = 0.3997x - 270.04$ $R^2=0.97$	محلول پاشی با آب Foliar with water
$y = 0.3076x - 175.98$ $R^2=0.99$	$y = 0.3353x - 203.37$ $R^2=0.98$	$y = 0.405x - 278.27$ $R^2=0.98$	محلول پاشی ۵ میکرو مولار 5 $\mu$ M JA
$y = 0.3247x - 198.06$ $R^2=0.99$	$y = 0.3492x - 213.31$ $R^2=0.98$	$y = 0.4056x - 273.91$ $R^2=0.98$	محلول پاشی ۱۰ میکرو مولار 10 $\mu$ M JA

گیاه تحت شرایط تنش خشکی افزایش می یابد و تأثیر تنش خشکی بر کاهش عملکرد از طریق کاهش سطح برگ و تسریع پیری برگ ها بسیار مهم تر از تأثیر گذاری آن بر فتوسنتز می باشد.

### نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که کمبود آب باعث کاهش شاخص های رشد، میزان تجمع ماده خشک گیاه، درصد نور جذب شده، ضریب استهلاک نوری و کارایی مصرف نور گیاه چندرقدند می شود. از طرفی محلول پاشی جاسمونیک اسید بر روی گیاه، با تأثیر بر رشد و بقا گیاه، باعث ایجاد مقاومت در گیاه شده و اثرات منفی کم آبی بر روند رشد گیاه را کاهش می دهد و با حفظ زیست توده گیاه و افزایش کارایی مصرف نور باعث افزایش تجمع ماده خشک ریشه می شود. بنابراین می توان تحت شرایط کم آبی و در مواجهه گیاه با شرایط کمبود آب با کاربرد ۱۰ میکرو مولار جاسمونیک اسید باعث تخفیف اثرات کم آبی و حفظ تولید زیست توده چندرقدند اقدام نمود.

در مطالعه Han *et al.* (2008) نشان داده شد عملکرد گیاه ارتباط مثبتی با کارایی مصرف نور دارد و هر دو تحت شرایط کمبود آبیاری، به دلیل کاهش زیست توده بالای زمین کاهش می یابند. در این مطالعه نیز کاهش وزن خشک اندام هوایی تحت شرایط کمبود آب (شکل ۳) باعث کاهش کارایی مصرف نور (جدول ۴) شد. اگرچه کارایی مصرف نور بالاتر، نشانگر استعداد بهتر گیاه در تبدیل نور به زیست توده است، ولی تولید زیست توده و در نهایت عملکرد بستگی زیادی به مقدار تابش جذب شده توسط گیاه دارد. بنابراین مشاهده می شود در تیمارهای که درصد نور جذب شده بیشتر بود، کارایی مصرف نور بالاتری داشتند و در نهایت منجر به وزن خشک ریشه بالاتر (شکل ۳) در همان تیمارها شد. بنابراین تیمار جاسمونیک اسید با تأثیر بر رشد گیاه و ایجاد مقاومت در برابر تنش و حفظ زیست توده گیاه منجر به کارایی مصرف نور بالاتر و در نهایت وزن خشک ریشه بالاتری نسبت به محلول پاشی با آب شد. Arous *et al.* (2002) نیز گزارش کردند کارایی مصرف نور با توزیع بهتر تشعشع فعال فتوسنتزی در کانوبی

### References

- Adeboye, O. B., Schultz, B., Adekalu, K. O. and Prasad, K. (2016). Impact of water stress on radiation interception and radiation use efficiency of Soybeans (*Glycine max* L. Merr.) in Nigeria. *Brazilian Journal of Science and Technology*, 3(15), 1-21.
- Allen, R. G., Pereira L. S., Raes, D. and Smith, M. (2000). *FAO irrigation and drainage paper*. Crop evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements), (No. 56 pp. 1-326). Rome, Italy: FAO.
- Arab, S., Baradaran Firouzabadi, M. and Asghari, H. R. (2016). The effect of ascorbic acid and sodium nitroprusside foliar application on photosynthetic pigments and some traits of spring

- safflower under water deficit stress. *Journal of Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture)*, 38(4), 93-104.
- Araus, J. L., Slafer, G. A., Reynolds, M. P. and Royo, C. (2002). Plant breeding and water relations in C3 cereals: what should we breed for?. *Annals of Botany*, 89(7), 925-940.
- Balbi, V. and Devoto, A. (2007). Jasmonate signalling network in *Arabidopsis thaliana*: crucial regulatory nodes and new physiological scenarios. *New Phytologist*, 177(2), 301-318.
- Beheshti, A. R., Kochaki, A. R. and Nasiri Mahalati, M. (2002). The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. *Seed and Plant Improvement Journal*, 18(4), 417-431. [In Farsi]
- El-Tayeb, M. A. (2006). Differential response of two *Vicia faba* cultivars to drought: Growth, pigments, lipid peroxidation, organic solutes, catalase and peroxidase activity. *Acta Agronomica Hungarica*, 54(1), 25-37.
- Farooq, M., Wahid, A. and Lee, D. J. (2009). Exogenously applied polyamine increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(5), 937-945.
- Ferreira, T. and Rasband, W. (2012). *ImageJ user guide*. Retrieved from <http://www.imagej.nih.gov/ij/notes.html>.
- Han, H., Li, Z., Ning, T., Zhang, X., Shan, Y. and Bai, M. (2008). Radiation use efficiency and yield of winter wheat under deficit irrigation in North China. *Plant Soil Environ*, 54(7), 313-319.
- Hopkins, W. G. (1995). *Introduction to plant physiology*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Inman-Bamber, N. G. (2004). Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. *Field Crops Research*, 89(1), 107-122.
- Mohammadian, R., Moghaddam, M., Rahimian, H. and Sadeghian, S. Y. (2005). Effect of early season drought stress on growth characteristics of sugar beet genotypes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(5), 357-368.
- Muchow, R. C. and Sinclair, T. R. (1994). Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field grown maize and sorghum. *Crop Science*, 34(4), 721-727.
- Naderi, M. R., Nour-mohammadi, G., Majidi, I., Darvish, F., H.shirani-rad, A. and Madani, H. (2005). Evaluation of summer safflower reaction to different intensities of drought stress at Isfahan region. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 7(3), 212-225. [In Farsi]
- Pazoki, A. R. and Kariminejad, M. (2009). Study the effect of zeolite and deficit water stress on extinction coefficient of canola. *Journal of Crop Production Research*, 2(2), 175-189. [In Farsi].
- Petkeviciene, B. (2009). The effects of climate factors on sugar beet early sowing timing. *Agronomy Research*, 7(1), 436-443.
- Ramberg, H. A., Bradley, J. S. C., Olson, J. S. C., Nishio, J. N., Markwell, J. and Osterman, J. C. (2002). The Role of Methanol in Promoting Plant Growth: An Update. A review. *Plant Biochem Biotechnol*, 1(2), 113-126.
- Reisi, Z., Tadayon, M. R. and Fallah, S. (2017). Effects of Chemical and Organic Fertilizers on Some of Growth and Quality Indices of Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Journal of Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture)*, 40(1), 15-28.
- Rinaldi, M. and Vonella, A. V. (2006). The response of autumn and spring sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to irrigation in Southern Italy: water and radiation use efficiency. *Field Crops Research*, 95(2-3), 103-114.

- Sadeghzade Hemayati, S., Kashani, A., Fatolah Taleghani, D., Normohamadi, Gh. and Siadat, S. A. (2008). Effect of sowing date, planting density and cultivar on solar radiation interception indices in sugar beet I. Radiation interception and extinction coefficient. *Journal of Sugar Beet*, 24(1), 23-42. [In Farsi]
- Shao, H. B., Chu L. Y. Jaleel, C. A. and Zhao, C. X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3), 215-225.
- Spollanesky, C., Pitta-Alvarez, S. and Giulietti, A. (2000). Effect of jasmonic acid and aluminium on production of tropane alkaloids in hairy root cultures of *Brugmansia candida*. *Electronic Journal of Biotechnology*, 3(1), 72-75.